



P804030/W011

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

①2 Offenlegungsschrift ①0 DE 101 27 034 A 1

⑤1 Int. Cl. 7:
G 01 C 3/06
B 60 R 1/00

②1 Aktenzeichen: 101 27 034.8
②2 Anmeldetag: 2. 6. 2001
④3 Offenlegungstag: 5. 12. 2002

DE 101 27 034 A 1

⑦1 Anmelder:

Adam Opel AG, 65428 Rüsselsheim, DE; Vitronic
Dr.-Ing. Stein Bildverarbeitungssysteme GmbH,
65189 Wiesbaden, DE

⑦2 Erfinder:

Hamann, Claus-Dieter, Dipl.-Ing., 65428
Rüsselsheim, DE; Simm, Norbert, 63069 Offenbach,
DE; Schuster, Peter, Dipl.-Ing., 65185 Wiesbaden,
DE; Brenneis, Lothar, Dipl.-Ing., 64331 Weiterstadt,
DE; Scherer, Frank, Dipl.-Ing., 64295 Darmstadt, DE;
Varchmin, Axel, Dipl.-Inform., 55122 Mainz, DE

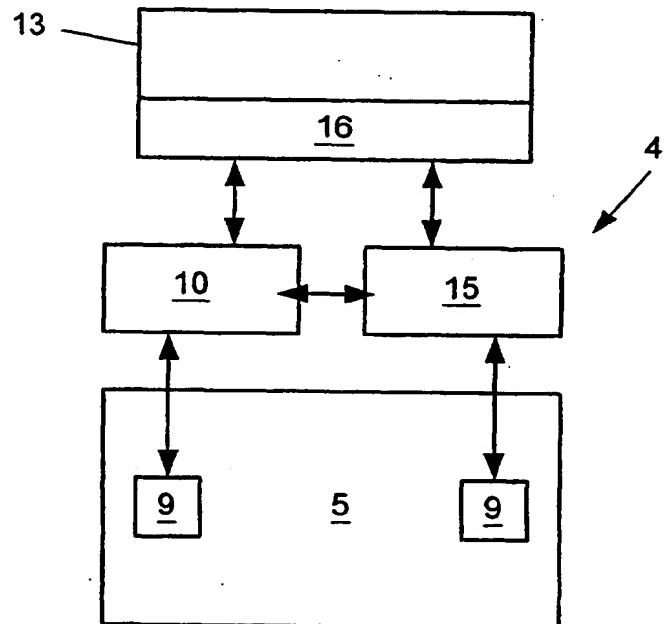
⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE	197 49 086 C1
DE	43 08 776 C2
US	62 05 234 B1
US	61 91 704 B1
WO	99 44 173 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 Verfahren und Vorrichtung zur Ermittlung eines Spurverlaufs einer Fahrbahn

⑤7 Bei einem Verfahren zur Ermittlung eines Spurverlaufs einer beidseitig helle oder dunkle Spurbegrenzungslinien (6, 7) aufweisenden dunklen bzw. hellen Fahrbahn (1) aus einem über die Fahrbahn (1) fahrenden Fahrzeug (2) liefert mindestens eine Kamera (3) in bestimmten Zeitintervallen ein Bild (5) eines vor dem Fahrzeug liegenden Außenraums an eine Bildverarbeitungseinrichtung (4). Die Bildverarbeitungseinrichtung (4) ermittelt bei den Spurbegrenzungslinien (6) in Abhängigkeit von zumindest einem Lenkwinkel sowie einer momentanen Geschwindigkeit des Fahrzeugs (2) und einem vorgegebenen Fahrzeuglage- und Spurverlaufsmodell signifikante Hell-Dunkel-Grenzen (8) modellgestützt sowie einen von zwei signifikanten Hell-Dunkel-Grenzen (8) begrenzten Linienbereich zeilenweise. Messkandidaten (9) der Hell-Dunkel-Grenzen (8) werden von der Bildverarbeitungseinrichtung (4) in jeweils mindestens einem modellgestützten und merkmalsbasierten Zustandsschätzverfahren (10, 15) zu Zustandsvektoren verarbeitet, die die Fahrzeuglage und den Spurverlauf beschreiben. Eine Inferenzmaschine (13) ermittelt aus diesen Zustandsvektoren die Ist-Daten des Spurverlaufs und vergleicht, beurteilt und korrigiert ggf. das modellgestützte sowie das merkmalsbasierte Zustandsschätzverfahren (10, 15) anhand der vorgegebenen Daten.



DE 101 27 034 A 1

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Ermittlung eines Spurverlaufs einer beidseitig helle oder dunkle Spurbegrenzungslinien aufweisenden dunklen bzw. hellen Fahrbahn aus einem über die Fahrbahn fahrenden Fahrzeug sowie auf eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens.

[0002] Aus der DE 43 08 776 C2 ist eine Einrichtung zum Überwachen des Außenraums eines Kraftfahrzeugs, das über eine durch ausgedehnte weiße Linien begrenzte Fahrspur fährt, bekannt. Die Einrichtung umfasst mehrere Kameras, die Bilder des Fahrzeugaußenraums aufnehmen und Bildsignale erzeugen, die diese Bilder anzeigen, und eine Bildverarbeitungseinrichtung. Die Bildverarbeitungseinrichtung ermittelt in Abhängigkeit von den Bildsignalen eine Distanzverteilung bezüglich des Fahrzeugs und erzeugt ein Distanzbild, das die Distanzverteilung anzeigendes Distanzbild. Im Weiteren ist eine Straßen- und Objekt-Detektoreinrichtung vorgesehen, die auf der Grundlage des Distanzbildes dreidimensionale Koordinaten in einem auf ein Koordinatensystem des Kraftfahrzeugs bezogenen realen Raum berechnet. Ferner ist eine Straßenverlaufsform-Detektoreinrichtung vorgesehen, die eine Straßenverlaufsform auf der Grundlage der dreidimensionalen Koordinaten von Abschnitten der weißen Linie berechnet. Hierbei werden als Ausgangssignale die Fahrzeuggeschwindigkeit und ein Lenkwinkelsensorsignal sowie ein Erkennungsergebnis einer Straßenform einer letzten Zeitspanne zugrundegelegt, um eine Straßenform nach einer bestimmten Zeitspanne abzuschätzen. Bei diesem Verfahren ermittelt die Straßenverlaufsform-Detektoreinrichtung mehrere dreidimensionale lineare Elemente, die jeweils einen Abschnitt jeder weißen Linie innerhalb einer von mehreren Regionen der Straße repräsentieren, wobei die Regionen bezogen auf die Distanz vom Fahrzeug aufgeteilt sind und jede weiße Linie durch die Kombination der dreidimensionalen linearen Elemente dargestellt ist. Jedes der dreidimensionalen linearen Elemente wird durch lineare Gleichungen repräsentiert, die die Projektion des dreidimensionalen Elements auf eine horizontale und eine vertikale Ebene repräsentieren.

[0003] Weiterhin weist die Straßenverlaufsform-Detektoreinrichtung eine Abschätzungseinrichtung auf, die in Abhängigkeit von den Fahrzeugfahrbedingungen die Änderung der dreidimensionalen linearen Elemente aus deren vorausgehenden Positionen abschätzt. Eine erste Erzeugungseinrichtung legt ein erstes dreidimensionales Fenster fest und schätzt einen dreidimensionalen Raum um jedes der abgeschätzten dreidimensionalen linearen Elemente. Eine Linearelement-Detektoreinrichtung extrahiert aus den dreidimensionalen Koordinaten nur die Koordinaten, die innerhalb des ersten dreidimensionalen Fensters liegen und berechnet die gegenwärtige Position des dreidimensionalen linearen Elements auf der Grundlage der extrahierten Koordinatendaten.

[0004] Die Straßenverlaufsform wird modellbasiert in lineare Abschnitte von jeweils einer bestimmten Distanz aufgeteilt und die Plausibilität aus der Parallelität dieser Abschnitte in horizontaler und vertikaler Richtung, bezogen auf Messergebnisse für den linken als auch den rechten Abschnitt, beurteilt. Die Messergebnisse und die festgelegten linearen Abschnitte werden nach vorgegeben Berechnungsmethoden miteinander verglichen und gewichtet sowie korrigiert. Mit dieser Einrichtung ist es nach der Verarbeitung einer relativ großen Datenmenge möglich, durch Ausnutzen dreidimensionaler Positionsinformationen der weißen Linien diese von dreidimensionalen Objekten zuverlässig zu trennen.

[0005] Darüber hinaus ist ein Verfahren zur Abschätzung eines Spurverlaufs einer Fahrbahn bekannt (Dissertation Dipl.-Ing. B. Mysliwetz, Universität der Bundeswehr München, 10.08.1990), das zur Unterscheidung zwischen einem optischen Signal einer weißen Spurbegrenzungslinie und Störungen ein dynamisches Modell von Fahrzeugquerbewegungen und einer Spurverlaufsgeometrie verwendet. Dieses dynamische Modell ermöglicht eine Formulierung einer Erwartung über die Lage und die Orientierung der Spurbegrenzungslinie in einem Videobild. Hierbei wird eine Kante der Spurbegrenzungslinie gezielt in ihrer erwarteten Lage im Videobild mittels signalangepasster Filterkerne gesucht. Die erwartete Lage und die Orientierung der Spurbegrenzungslinie werden durch physikalische und logische Größen, die den aktuellen Zustand, in dem sich Fahrzeug und Spurverlauf befinden, beschrieben. Diese relevanten Größen werden durch die aktuelle Fahrzeuglage sowie dessen Querdynamik und Geschwindigkeit und bekannten Daten über Spurverläufe und Straßenattribute gewonnen. Der Unterschied zwischen der erwarteten Lage und der gemessenen Lage der Spurbegrenzungslinie wird unmittelbar, d. h. ohne die perspektivische Abbildung zu invertieren, im Rahmen eines Optimalfilters, eines Kalman Filters, auf den erwarteten Fahrzeuglage- und Spurverlaufszustand aufgeschlagen. Die Messung im Videobild korrigiert somit lediglich die modellbasierte Erwartung oder eine zu Beginn der Messungen formulierte Hypothese über den Anfangsschätzwert. Dieses rekursive Verfahren ist ein Spurverfolgungsverfahren, das auf die Ergebnisse einer sequentiell vorausgehenden Spurendeckungsphase angewiesen ist.

[0006] Ferner wurde an der Carnegie Mellon University, Pittsburgh, USA, ein Verfahren (RALPH, Rapidly Adapting Lateral Position Handler) entwickelt, das die Modellierung von Fahrzeugquerbewegungen und Spurverlaufsgeometrie vermeidet, um von der speziellen Ausbildung der Spurverlaufsgeometrie sowie der Spurbegrenzungslinie und damit auch der Art der jeweils angepassten extraktionsfähigen Merkmale unabhängig zu bleiben. Bei diesem Verfahren wird damit aber auch auf die Auswertung der querdynamischen zeitlichen Zusammenhänge zwischen aufeinanderfolgenden Videobildern verzichtet. Es konzentriert sich lediglich auf die Auswertung des jeweiligen Einzelbildes. Wegen der Notwendigkeit den Zustand in jedem Videobild komplett neu berechnen zu müssen, handelt es sich hierbei primär um ein merkmalsbasiertes Spurerkennungsverfahren.

[0007] Die Praxis zeigte, dass weder das an der Universität der Bundeswehr entwickelte Spurverfolgungsverfahren noch das von der Carnegie Mellon University verfolgte Spurerkennungsverfahren jeweils in isolierter Anwendung in der Lage ist, die komplexe Szene des Fahrzeugumfeldes hinsichtlich des Spurverlaufs einer Fahrbahn zufriedenstellend zu ermitteln.

[0008] Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren der eingangs genannten Art und eine Vorrichtung zu schaffen, wobei mit einem relativ geringen Rechenaufwand einen Spurverlauf einer Fahrbahn mit hinreichender Genauigkeit ermittelt werden soll.

[0009] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch ein Verfahren zur Ermittlung eines Spurverlaufs einer beidseitig helle oder dunkle Spurbegrenzungslinien aufweisenden dunklen bzw. hellen Fahrbahn aus einem über die Fahrbahn fahrenden Fahrzeug gelöst, bei dem

- mindestens eine Kamera in bestimmten Zeitintervallen ein Bild eines vor dem Fahrzeug liegenden Außenraums an eine Bildverarbeitungseinrichtung liefert,
- die Bildverarbeitungseinrichtung bei den Spurbegrenzungslinien in Abhängigkeit von zumindest einem

Lenkwinkel sowie einer momentanen Geschwindigkeit des Fahrzeugs und einem vorgegebenen Fahrzeuglage- und Spurverlaufsmodell signifikante Hell-Dunkel-Grenzen modellgestützt sowie einen von zwei signifikanten Hell-Dunkel-Grenzen begrenzten Linienbereich zeilenweise ermittelt,

– Messkandidaten der Hell-Dunkel-Grenzen von der Bildverarbeitungseinrichtung in jeweils mindestens einem modellgestützten und merkmalsbasierten Zustandsschätzverfahren zu Zustandsvektoren verarbeitet werden, die die Fahrzeuglage und den Spurverlauf beschreiben und

– eine Inferenzmaschine die Zustandsvektoren und damit Ist-Daten des Spurverlaufs ermittelt sowie das modellgestützte und das merkmalsbasierte Zustandsschätzverfahren anhand vorgegebener Daten vergleicht und beurteilt.

[0010] Die Merkmale einer erfindungsgemäßen Vorrichtung ergeben sich aus Patentanspruch 11.

[0011] Aufgrund dieses Verfahrensablaufs wird ein Spurverlauf einer Fahrbahn mit einer relativ hohen Genauigkeit ermittelt, da in der Bildverarbeitungseinrichtung jedes von der Kamera gelieferte Bild nach mehreren Zustandsschätzverfahren, nämlich sowohl nach mindestens einem modellgestützten Spurverfolgungsverfahren als auch nach mindestens einem merkmalsbasierten Spurerkennungsverfahren, im wesentlichen parallel ausgewertet wird. Diesen Zustandsschätzverfahren liegen Messkandidaten zugrunde, die die Bildverarbeitungseinrichtung zum einen anhand von Kantenmerkmalen, die an den signifikanten Hell-Dunkel-Grenzen, die am Übergang der hellen Spurbegrenzungslinie zu dem relativ dunklen Fahrbahnbelag vorliegen und anhand von linienförmigen Merkmalen, die durch im wesentlichen gegenüberliegende Hell-Dunkel-Grenzen definiert sind, ermittelt.

[0012] Diese Messkandidaten werden in den Zustandsschätzverfahren zu Fahrzeuglage und Spurverlauf beschreibenden Zustandsvektoren verarbeitet, die rechnerinternen Repräsentanten des physikalischen Prozesses der Fahrzeugquerbewegung auf einer beliebig gekrümmten Straße entsprechen. Hierzu greift das modellgestützte Spurverfolgungsverfahren auf Informationen über Spurgeometrien und den Fahrzeugzustand zurück, wobei das Signal eines Lenkwinkelsensors und die aktuelle Fahrzeuggeschwindigkeit lediglich Minimalinformationen darstellen. Bei der modellgestützten Ermittlung von Zustandsvektoren können beispielsweise ein Schwimmwinkel des Fahrzeugs, also der Winkel zwischen der Fahrzeuglängsachse und der Bewegungsrichtung, die Querablage des Fahrzeugs, ein Gierwinkel, also der Winkel zwischen Fahrzeuglängsachse und Fahrbahntangente, der in der Ebene der Fahrbahn gemessen wird, sowie ein Nickwinkel, also der Winkel zwischen Fahrzeuglängsachse und Fahrbahntangente, gemessenen in der zur Fahrbahn senkrechten Ebene berücksichtigt werden. Hinsichtlich der Spurverlaufsgeometrie werden Attribute, wie Spürkrümmungen und ihr Änderungsverhalten sowie unterschiedliche Arten von Spurbegrenzungslinien, berücksichtigt.

[0013] Auf Grundlage dieser Informationen spannt das modellgestützte Spurverfolgungsverfahren Suchfenster in dem Bereich auf, in dem eine Spurbegrenzungslinie vermutet wird und sucht nach den signifikanten Hell-Dunkel-Grenzen, die am Übergang der in der Regel hellen Spurbegrenzungslinie zu dem relativ dunklen Fahrbahnbelag vorliegen. Dadurch ist es nicht erforderlich, das gesamte Bild auszuwerten, sondern lediglich den Bereich, in dem die Spurbegrenzungslinie aufgrund der dynamischen Modellie-

rung vermutet wird. Dieses modellgestützte Spurverfolgungsverfahren hat den Vorteil einer relativ zuverlässigen Rauschunterdrückung, jedoch auch den Nachteil, dass bei zu großen gemessenen Abweichungen von Modellvorstellungen der Rechenprozess divergieren kann und instabil wird. Daher läuft als Redundanzverfahren das merkmalsbasierte Spurerkennungsverfahren ab, das ein Detektionsverfahren ist und im Wesentlichen eine Bildauswertung vornimmt. Das Spurerkennungsverfahren liefert auch in relativ großer Entfernung zur Kamera des Fahrzeugs zuverlässigere Messkandidaten als das modellgestützte Verfahren.

[0014] Die die Ist-Daten des Spurverlaufs ermittelnde Inferenzmaschine vergleicht und beurteilt anhand vorgegebener Daten das modellgestützte und das merkmalsbasierte Zustandsschätzverfahren und berücksichtigt hierbei die unterschiedlichen Stärken und Schwächen der Verfahren. Bei einem plötzlichen Spurwechsel oder einer fehlenden Spurbegrenzungslinie greift die Inferenzmaschine auf ihre eigene Daten- und Regelbasis und/oder die Zustandsvektoren aus der modellgestützten Ermittlung der Hell-Dunkel-Grenze der Spurbegrenzungslinie zurück und greift unterstützend in die Bildverarbeitungseinrichtung ein, wobei die Inferenzmaschine bidirektional arbeitet. Die Inferenzmaschine liefert die ermittelten Ist-Daten des Spurverlaufs an sogenannte Fahrzeugassistentensysteme. Ein solches Fahrzeugassistentensystem kann beispielsweise die Geschwindigkeitsregelung des Fahrzeugs in Abhängigkeit vom Spurverlauf oder von anderen auf der Fahrbahn detektierten Objekten übernehmen. Im Weiteren können die Ist-Daten zur Absicherung eines Spurwechsels verwendet werden, in dem sie mit weiteren Erkennungssystemen gekoppelt werden. Die von der Inferenzmaschine ermittelten Ist-Daten können auch als Grundlage zur Schätzung der Fahrbahnkrümmung in einem nicht von der Kamera erfassten Bereich dienen.

[0015] Um den erforderlichen Rechenaufwand relativ gering zu halten, liefern zweckmäßigerweise das modellgestützte und das merkmalsbasierte Zustandsschätzverfahren Vertrauensmaße, mit denen die Güte der Zustandsvektoren abgeschätzt wird.

[0016] Bevorzugt liefert die Abweichung des jeweiligen Messkandidaten zur erwarteten Soll-Lage der Fahrbahn im Bild ein Gütemaß zur Abschätzung der Güte der jeweiligen modellgestützten und merkmalsbasierten Zustandsschätzverfahren. Liefern die modellgestützte Ermittlung der Spurbegrenzungslinien und die modellfreie Ermittlung der Spurbegrenzungslinien jeweils die Fahrzeuglage und den Spurverlauf beschreibende Zustandsvektoren unterschiedlicher Güte, greift die Inferenzmaschine auf ihre der Beurteilung der Messkandidaten zugrundeliegenden Daten zurück und entscheidet über die weitere Vorgehensweise bei der Ist-Datenermittlung. Die Inferenzmaschine kann dann auf den einen oder anderen Zustandsvektor zurückgreifen oder aber auch die vorhandenen Zustandsvektoren korrigieren. Diese Vorgehensweise der szenenabhängigen Interpretation, bei der die Inferenzmaschine ihre Wissensbasis, also ihre Daten- und oder Regelbasis nutzt, ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn die szenenabhängigen Schwächen eines Zustandsschätzverfahrens durch das andere Zustandsschätzverfahren ausgeglichen werden können.

[0017] Vorteilhafterweise dienen Zustandsvektoren eines Bildes als Grundlage für die Ermittlung von Messkandidaten eines darauffolgenden Bildes. Da die einzelnen Bilder der Kamera in sehr kurzen Zeitintervallen der Bildverarbeitungseinrichtung zur Verfügung stehen und eine Änderung des Spurverlaufs in diesen Zeitintervallen in der Regel nur geringfügig ist, dienen die Ist-Daten des Spurerkennungsverfahrens zur Eingrenzung der Suchbereiche der Spurbegrenzungslinien, in denen Messkandidaten im aktuellen

Bild ermittelt werden.

[0018] Vorzugsweise wird aus einem erwarteten Messvektor und einem ermittelten Messvektor ein Korrekturvektor zur Ermittlung eines Zustandsvektors gebildet. Bei diesem rekursiven Verfahren werden mit einem Relativ geringen Rechenaufwand hinreichend genaue Ergebnisse erzielt.

[0019] Zweckmäßigerweise wird die Ermittlung der Hell-Dunkel-Grenze und des Linienbereichs der Spurbegrenzungslinien mit einem Optimalfilter vorgenommen. Im weiteren wird zweckmäßigerweise bei dem modellgestützten Zustandsschätzverfahren ein Kalman Filter, eine Fuzzy-Inferenzmaschine oder ein neuronales Netz verwendet. Das Kalman Filter liefert eine vollständige statistische Charakterisierung für das Problem einer Schätzung eines dynamischen Systems und schließt neben der Charakterisierung des aktuellen Wissenszustandes den Einfluss aller vergangenen Informationen mit ein. Das Kalman Filter liefert einen linearen, unverzerrten und Minimum-Varianz rekursiven Algorithmus, um den Zustand eines dynamischen Systems aus fehlerbehafteten (verrauschten) Daten, die in der Echtzeit gegeben sind, optimal zu schätzen. Die Kalman Filter Theorie liefert daher ein ausgezeichnetes Werkzeug für die Kombination von Beobachtungsgrößen mit Vorhersagegrößen, um die darin enthaltenen zufälligen Fehler zu korrigieren.

[0020] Nach einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ermittelt die Bildverarbeitungseinrichtung in einem bestimmten Zeilenabstand mehrere Messkandidaten für jede der Spurbegrenzungslinien pro Bild in einer konstanten Vorausschauentfernung. Da bei einem vertikal gekrümmten Fahrbahnverlauf nicht vertikale Bildkoordinaten sondern korrespondierende diskrete Vorschauentfernungen, an denen bildlokal Kantenelemente extrahiert werden, konstant sind, wird der zur Bildauswertung erforderliche Rechenaufwand wesentlich verringert und die Notwendigkeit ungenauer numerischer Differentiationen vermieden. Im Zusammenhang mit den Daten der Zustandsschätzverfahren werden die Messkandidaten im Nahbereich, die in gleicher Entfernung auf der rechten und linken Seite des Bildes extrahiert werden, vorverarbeitet und die Abweichung zwischen erwarteter und gemessener Bildposition berechnet. Die derart gewonnenen Ergebnisse werden zur Aktualisierung des horizontalen und vertikalen Spurverlaufs verwendet.

[0021] Vorteilhafterweise werden aus der Differenz erwarteter und gemessener Vektoren gerade und ungerade Anteile berechnet, die in dem modellgestützten Zustandsschätzverfahren zu Zustandsvektoren verarbeitet werden. Die geraden Anteile liefern im Zusammenhang mit den relevanten Fahrzeugdaten eine Aussage bezüglich der horizontalen Spurverlaufsschätzung und die ungeraden Anteile liefern vertikale Lagedaten des Fahrzeugs auf der Fahrbahn. Somit stehen neben den Messdaten auch daraus resultierende Anteile aus der Abweichung von den Messdaten zur Verfügung, die zur Berechnung exakter Ergebnisse des modellgestützten Zustandsschätzverfahren dienen.

[0022] Zweckmäßigerweise liefert eine zweite, nicht unbedingt erforderliche Kamera in bestimmten Zeitintervallen ein Bild eines hinter dem Fahrzeug liegenden Außenraums an eine Bildverarbeitungseinrichtung. Durch diese Bilder lassen sich genauere Angaben bezüglich einer Spurbreitenänderung der Fahrbahn sowie des Nickwinkels des Fahrzeugs errechnen, wobei der Nickwinkel die Darstellung der Breite der Spur im Bild beeinflusst.

[0023] Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

[0024] Die Erfindung wird im folgenden anhand eines

Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die zugehörigen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

[0025] Fig. 1 ein Ablaufschema eines erfindungsgemäßen Verfahrens,

5 [0026] Fig. 2 eine schematische Darstellung eines in einer Bildverarbeitungseinrichtung nach Fig. 1 bearbeiteten Bildes und

[0027] Fig. 3 eine weitere schematische Darstellung eines in der Bildverarbeitungseinrichtung nach Fig. 1 bearbeiteten Bildes.

10 [0028] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Ermittlung eines Spurverlaufs einer Fahrbahn 1 kommt eine Kamera 2 zum Einsatz, die in einem Fahrzeug 3 montiert und mit einer Bildverarbeitungseinrichtung 4 gekoppelt ist.

15 [0029] Die Kamera 2 nimmt in bestimmten Zeitintervallen ein Bild 5 vom frontseitigen Außenraum des Fahrzeugs 3 auf. Das Bild 5, das in unterschiedlichen verrauschten Graustufen vorliegt und während der Fahrt des Fahrzeugs 3 über die Fahrbahn 1 aufgenommen wird, wird in der Bildverarbeitungseinrichtung 4 ausgewertet. Auf dem Bild 5 sind helle Spurbegrenzungslinien 6, 7 zu erkennen, die an ihren Kanten signifikante Hell-Dunkel-Grenzen 8 zu der dunklen Fahrbahn 1 aufweisen.

20 [0030] Die Bildverarbeitungseinrichtung 4 ermittelt mit signalangepassten Filtern 12, 14 bei den Spurbegrenzungslinien 6, 7 Messkandidaten 9 an den signifikanten Hell-Dunkel-Grenzen 8 sowie einen Linienbereich der Spurbegrenzungslinien 6, 7, der durch nebeneinanderliegende Messwerte mit entsprechenden Vorzeichen gekennzeichnet ist. Die Suche nach dem Linienbereich der Spurbegrenzungslinien 6, 7 mit dem signalangepassten Filter 14 erfolgt zeilenweise über das digitalisierte Bild 5 der Bildverarbeitungseinrichtung 4. Bei der Ermittlung der Hell-Dunkel-Grenzen 8 wird durch ein modellgestütztes Spurverfolgungsverfahren 10, also dem einen Zustandsschätzverfahren, im darauffolgenden Bild ein Suchfenster 11 aufgespannt, in dem die Messkandidaten 9 mittels des signalangepassten Filters 12, das als richtungsselektives Kantefilter ausgebildet ist ermittelt werden.

30 [0031] Diesem modellgestützten Spurverfolgungsverfahren 10 liegen neben relevanten Daten des Fahrzeugs, wie Signale eines Lenkwinkelsensors und die aktuelle Fahrzeuggeschwindigkeit, auch Daten über einen üblichen Spurverlauf zugrunde, die zur Überprüfung der Plausibilität des gemessenen Zustands dienen. In Abhängigkeit von diesen Daten und der Fähigkeit zur modellgestützten Prädiktion spannt die Bildverarbeitungseinrichtung 4 im darauffolgenden Bild das Suchfenster 11 auf, in dem die Messkandidaten 9 ermittelt werden. Das modellgestützte Spurverfolgungsverfahren 10 verarbeitet die Messkandidaten 9 unter Berücksichtigung von Abweichungen zwischen gemessenen Daten im Bild und erwarteten Daten aufgrund des Modellwissens mittels eines Kalman-Filters zu Zustandsvektoren. Dieses modellgestützte Zustandsschätzverfahren 10 vergleicht die Messkandidaten 9 mit den Ergebnissen, die es aufgrund seiner Modellvorstellung erwartet und ermittelt so ein Korrekturmaß, das bei der Berechnung der Ist-Daten des Spurverlaufs entsprechend berücksichtigt wird.

40 [0032] Darüber hinaus ist als weiteres Zustandsschätzverfahren ein modellfreies Spurerkennungsverfahren 15 vorgesehen, das ebenfalls aus dem Messkandidaten 9 Zustandsvektoren bezüglich der Fahrzeuglage und des Spurverlaufs errechnet und mit dem modellgestützten Spurverfolgungsverfahren 10 in Wechselwirkung stehen kann. Beide Zustandsschätzverfahren 10, 15 liefern Zustandsvektoren zur Auswertung an eine Inferenzmaschine 13.

65 [0033] Die Inferenzmaschine 13 greift zur Auswertung und Beurteilung der Zustandsvektoren auf eine Wissensba-

sis 16 mit einer Regelbasis sowie einer Datenbasis zurück. Die Wissensbasis 16 umfasst neben Daten bezüglich des Momentanzustandes des Fahrzeugs auch Daten hinsichtlich der Ausgestaltung von unterschiedlichen Spurverläufen. Darüber hinaus koppelt die Inferenzmaschine 13 die beiden in der Bildverarbeitungseinrichtung 4 ablaufenden Zustandsschätzverfahren 10, 15 zur Erkennung der Hell-Dunkel-Grenzen der Spurbegrenzungslinien 6, 7 derart, dass die Stärken des einen Verfahrens die Schwächen des anderen Verfahrens ausgleicht. Hierdurch wird auch das Spurerkennungsverfahren 15 so gesteuert, dass der signalangepasste Filter 14 nicht das ganze Bild 5 zeilenweise nach Linienbereichen absucht, sondern nur in dem Bereich sucht, in dem die Wahrscheinlichkeit, die Spurbegrenzungslinien 6, 7 zu finden, hinreichend hoch ist.

[0034] Bei einer vertikalen Krümmung der Fahrbahn und damit auch der Spurbegrenzungslinien 6, 7, deren Darstellung in der Bildverarbeitungsvorrichtung 4 als Kurven erfolgt, werden die Messkandidaten 9 in variablen Zeilenabständen i_2 ausgewertet, denen jeweils eine konstante Vorausschauentfernung L_2 auf der Fahrbahn 1 zugrunde liegt. Die Konstanz der diskreten Vorausschauentfernungen L_2 auf denen Messkandidaten 9 auf den veränderlichen korrespondierenden Bildzeilen i_2 entnommen werden, vermeidet sowohl eine numerische Differentiation der Abbildungsgleichungen, die zur Berechnung Kalmanverstärkungskoeffizienten linearisiert vorliegen müssen als auch die aufwendige Erstellung korrigierter Abbildungsmatrizen, die in der rekursiven Spurverlaufserschätzung in jedem Zyklus erneut berechnet werden müssten.

Bezugszeichenliste

1 Fahrbahn	
2 Kamera	35
3 Fahrzeug	
4 Bildverarbeitungseinrichtung	
5 Bild	
6 Spurbegrenzungslinie	
7 Spurbegrenzungslinie	40
8 Hell-Dunkel-Grenze	
9 Messkandidat	
10 modellgestütztes Spurverfolgungsverfahren	
11 Suchfenster	
12 signalangepasstes Filter	45
13 Inferenzmaschine	
14 signalangepasstes Filter	
15 Spurerkennungsverfahren	
16 Wissensbasis	50

Patentansprüche

- Verfahren zur Ermittlung eines Spurverlaufs einer beidseitig helle oder dunkle Spurbegrenzungslinien (6, 7) aufweisenden dunklen bzw. hellen Fahrbahn (1) aus einem über die Fahrbahn (1) fahrenden Fahrzeug (2), bei dem
 - mindestens eine Kamera (3) in bestimmten Zeitintervallen ein Bild (5) eines vor dem Fahrzeug liegenden Außenraums an eine Bildverarbeitungseinrichtung (4) liefert,
 - die Bildverarbeitungseinrichtung (4) bei den Spurbegrenzungslinien (6) in Abhängigkeit von zumindest einem Lenkwinkel sowie einer momentanen Geschwindigkeit des Fahrzeugs (2) und einem vorgegebenen Fahrzeuglage- und Spurverlaufsmodell signifikante Hell-Dunkel-Grenzen (8) modellgestützt sowie einen von zwei signifikanten

ten Hell-Dunkel-Grenzen (8) begrenzten Linienbereich zeilenweise ermittelt,

– Messkandidaten (9) der Hell-Dunkel-Grenzen (8) von der Bildverarbeitungseinrichtung (4) in jeweils mindestens einem modellgestützten und merkmalsbasierten Zustandsschätzverfahren (10, 15) zu Zustandsvektoren verarbeitet werden, die die Fahrzeuglage und den Spurverlauf beschreiben und

– eine Inferenzmaschine (13) aus Zustandsvektoren die Ist-Daten des Spurverlaufs ermittelt sowie das modellgestützte und das merkmalsbasierte Zustandsschätzverfahren (10, 15) anhand vorgegebener Daten vergleicht, beurteilt und ggf. korrigiert.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das modellgestützte und das merkmalsbasierte Zustandsschätzverfahren (10, 15) Vertrauensmaße liefern, mit denen die Güte der Zustandsvektoren abgeschätzt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Abweichung des jeweiligen Messkandidaten (9) zur erwarteten Soll-Lage der Fahrbahn (1) im Bild (5) ein Gütemaß zur Abschätzung der Güte der jeweiligen modellgestützten und merkmalsbasierten Zustandsschätzverfahren (10, 15) liefert.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass Zustandsvektoren eines Bildes (5) als Grundlage für die Ermittlung von Messkandidaten (9) eines darauffolgenden Bildes dienen.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass aus einem erwarteten Messvektor und einem ermittelten Messvektor ein Korrekturvektor zur Ermittlung eines Zustandsvektors gebildet wird.

6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Ermittlung der Hell-Dunkel-Grenze (8) und des Linienbereichs der Spurbegrenzungslinien (6, 7) mit einem Optimalfilter (12, 14) vorgenommen wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass bei dem modellgestützten Zustandsschätzverfahren (10) ein Kalman Filter, eine Fuzzy-Inferenzmaschine oder ein neuronales Netz verwendet wird.

8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Bildverarbeitungseinrichtung (4) in einem bestimmten Zeilenabstand mehrere Messkandidaten (9) für jede der Spurbegrenzungslinien (6, 7) pro Bild (5) in einer konstanten Vorausschauentfernung ermittelt.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass aus der Differenz erwarteter und gemessener Vektoren gerade und ungerade Anteile berechnet werden, die in dem modellgestützten Zustandsschätzverfahren (10) zu Zustandsvektoren verarbeitet werden.

10. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine zweite Kamera in bestimmten Zeitintervallen ein Bild (5) eines hinter dem Fahrzeug (3) liegenden Außenraums an eine Bildverarbeitungseinrichtung (4) liefert.

11. Vorrichtung zur Ermittlung eines Spurverlaufs einer beidseitig helle oder dunkle Spurbegrenzungslinien (6, 7) aufweisenden dunklen bzw. hellen Fahrbahn (1) aus einem über die Fahrbahn (1) fahrenden Fahrzeug (2), bestehend aus

– mindestens einer Kamera (3), die in bestimm-

ten Zeitintervallen ein Bild (5) eines vor dem Fahrzeug liegenden Außenraums an eine Bildverarbeitungseinrichtung (4) liefert,
– einer Bildverarbeitungseinrichtung (4), die in Abhängigkeit von zumindest einem Lenkwinkel sowie einer momentanen Geschwindigkeit des Fahrzeugs (2) und einem vorgegebenen Fahrzeuglage- und Spurverlaufsmodell signifikante Hell-Dunkel-Grenzen (8) modellgestützt sowie einen von zwei signifikanten Hell-Dunkel-Grenzen (8) begrenzten Linienbereich zeilenweise ermittelt und die Messkandidaten (9) der Hell-Dunkel-Grenzen (8) in jeweils mindestens einem modellgestützten und merkmalsbasierten Zustandsschätzverfahren (10, 15) zu Zustandsvektoren verarbeitet, welche die Fahrzeuglage und den Spurverlauf beschreiben und
– einer Inferenzmaschine (13), die aus Zustandsvektoren die Ist-Daten des Spurverlaufs ermittelt sowie das modellgestützte und das merkmalsbasierte Zustandsschätzverfahren (10, 15) anhand vorgegebener Daten vergleicht, beurteilt und ggf. korrigiert.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

25

30

35

40

45

50

55

60

65

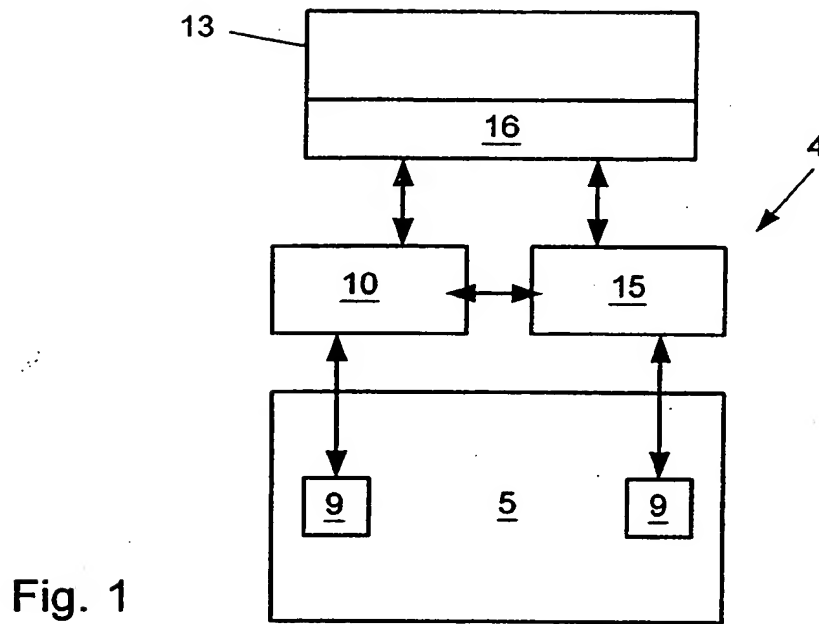


Fig. 1

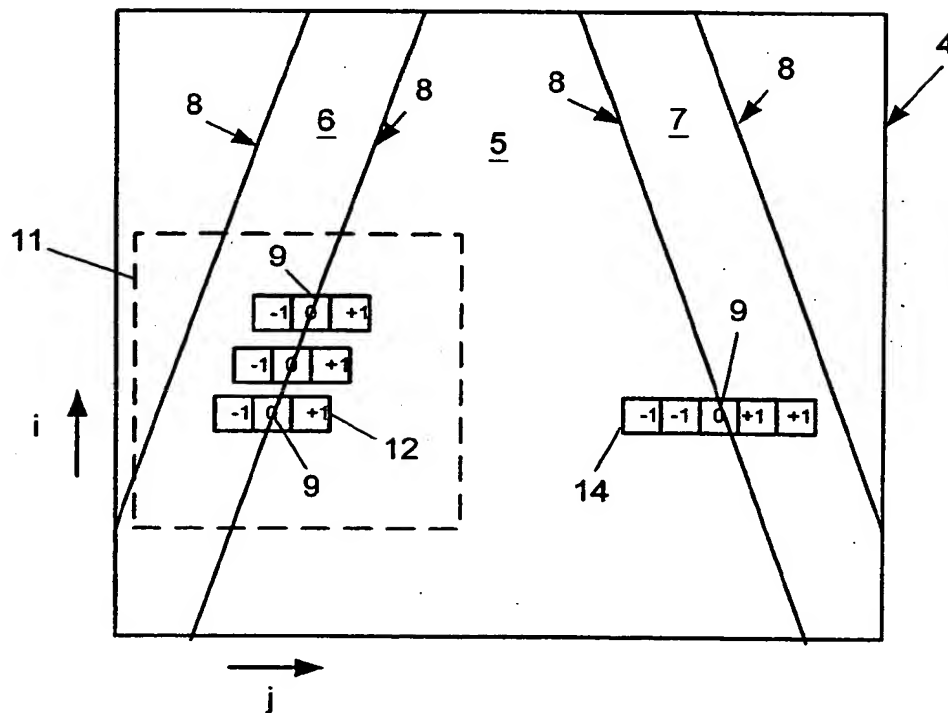


Fig. 2

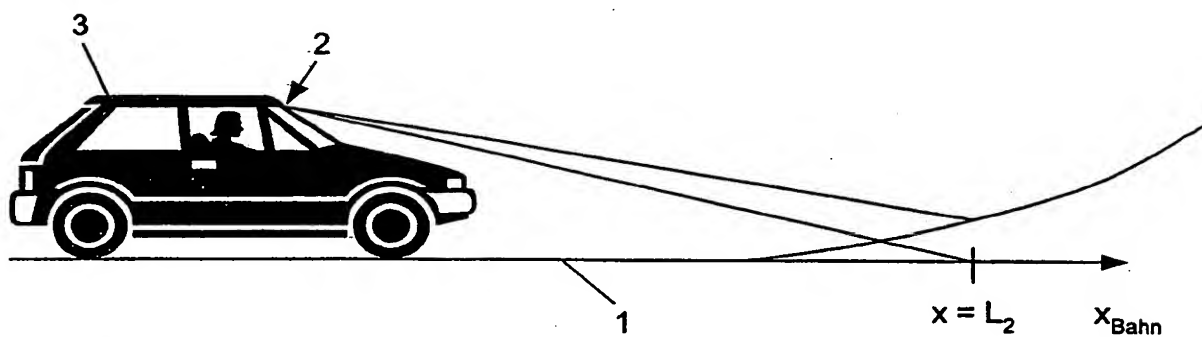
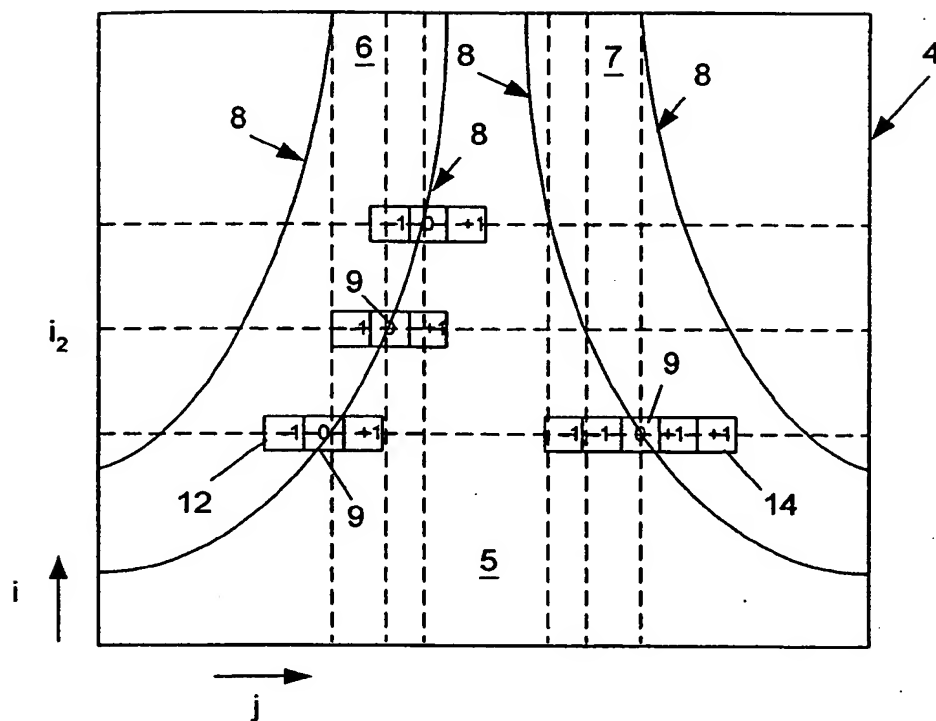


Fig. 3